



NEDERLANDSCHE UITGAVE

VAN

Dr. WILHELM KONRAD RÖNTGEN,

Hoogleeraar aan de Koninklijke Universiteit te Würzburg.

Een nieuw soort van Stralen.

AMSTERDAM,
A. M. VAN DEN BROECKE.
1896.



NEDERLANDSCHE UITGAVE

VAN

Dr. WILHELM KONRAD RÖNTGEN,

Hoogleeraar aan de Koninklijke Universiteit te Würzburg,

Een nieuw soort van Stralen.

AMSTERDAM,
A. M. VAN DEN BROECKE.
1896.



Een nieuw soort van Stralen

DOOR

Dr. WILHELM KONRAD RÖNTGEN,

Hoogleeraar aan de Koninklijke Universiteit te Würzburg.

Uit het officieel verslag der zittingen van de Würzburger Physik. Medezin-Gesellschaft.

---

1. Wanneer men de ontladingen van een grooten Ruhmkorff laat gaan door een Hittorfs vacuumbuis of door een voldoend geevacueerd Lenard- of Crookes- of dergelijk apparaat, en men bedekt de buis met een tamelijk nauwsluitenden mantel van dun, zwart karton, dan ziet men in een volkomen donkere kamer bij elke ontlading een met bariumplatinacyanuur bestreken papieren scherm, dat in de nabijheid van het apparaat gebracht is, hel verlicht worden, fluoresceeren, onverschillig

of de bestreken zijde van het scherm of de andere zijde naar het ontladings-apparaat is toegekeerd. De fluorescentie is nog op 2 M. afstand van het apparaat waar te nemen.

Men kan zich gemakkelijk overtuigen, dat de oorzaak der fluorescentie van het ontladings-apparaat uitgaat en van geen andere plaats der leiding.

2. Wat ons bij dit verschijnsel in de eerste plaats treft, is, dat er door de zwarte kartonnen huls, die geen zichtbare of ultraviolette stralen van zonlicht of electrisch booglicht doorlaat, een agens dringt, dat in staat is levendige fluorescentie te doen ontstaan en dus zal men wel in de eerste plaats onderzoeken, of ook andere lichamen deze eigenschap hebben.

Men vindt spoedig, dat alle lichamen dat agens doorlaten, maar in verschillende graden. Ik haal eenige voorbeelden aan. Papier is zeer doordringbaar: [1]) achter een ingebonden boek van circa 1000 bladzijden zag ik het fluorescentie-

[1]) Met „doordringbaarheid" van een lichaam bedoel ik de mate van verlichting van een fluorescentiescherm, dat vlak achter een lichaam gehouden wordt, in verhouding tot de verlichting van het scherm, welke het onder dezelfde omstandigheden vertoont, wanneer er geen lichaam tusschen geplaatst is.

scherm nog duidelijk verlicht; de drukinkt biedt geen merkbare hindernis. Eveneens vertoonde zich de fluorescentie achter een dubbel spel whist-kaarten, een enkele kaart tusschen apparaat en scherm is met het bloote oog nauwelijks te bemerken. Een enkel blad stanniol is ook nauwelijks waartenemen; eerst nadat er eenige lagen over elkander gelegd zijn ziet men de schaduw duidelijk op het scherm. Dikke stukken hout zijn nog doordringbaar, dennenplanken van twee of drie cm. dik absorbeeren maar zeer weinig. — Een laagje aluminium van circa 15 millimeter verzwakte de werking zeer belangrijk, maar kon de fluorescentie niet geheel doen verdwijnen. Caoutchoucschijven van eenige cM. dik lieten nog stralen door. [1]) Bij glazen platen van gelijke dikte is de werking verschillend, al naardat zij loodhoudend zijn (flintglas) of niet; de eerste zijn veel minder doordringbaar dan de laatste. — Houdt men de hand tusschen het ontladings apparaat en het scherm, dan ziet men de donkerder schaduw der beenderen van de hand in het veel minder donkere schaduwbeeld van de hand zelf.

[1]) Kortheidshalve zou ik het woord „stralen" en wel ter onderscheiding van andere, den naam „X-stralen" willen gebruiken.

Water, zwavelkoolstof en verscheidene andere vloeistoffen in kwartsbuizen onderzocht, schijnen zeer doordringbaar. — Dat waterstofinderdaad meer doordringbaar zou zijn dan lucht, heb ik niet kunnen ontdekken. Achter platen van koper, zilver, lood, goud, platina is de fluorescentie nog duidelijk waar te nemen, maar alleen, wanneer de dikte der plaat niet al te groot is. Platina van 0.2 mM. dikte is nog doordringbaar; platen van zilver en koper kunnen wel wat zwaarder zijn. Lood ter dikte van 1.5 mM. is zoo goed als ondoordringbaar en is daarom ter wille dezer eigenschap dikwijls gebruikt. Een houten stang met vierkant doorsnede (20 × 20 mM.), waarvan de eene zijde met loodverf wit geverfd was, levert verschillende resultaten op, naar den stand, waarin hij tusschen apparaat en scherm wordt gehouden; terwijl hij bijna niets uitwerkt als de X-stralen er evenwijdig met de geverfde zijde doorheen gaan, werpt hij daarentegen een donkere schaduw als de stralen door de geverfde zijde heen moeten gaan. Volgens dezefde reeks als de metalen, kunnen ook hunne zouten, in vasten toestand of in oplossing, met betrekking tot hunne doordringbaarheid worden gerangschikt.

3. De boven aangehaalde resultaten van onder-

zoek, die nog met andere konden vermeerderd worden, leiden tot het besluit, dat de doordringbaarheid der verschillende stoffen, bij gelijke dikte der laag, inderdaad afhankelijk is van de dichtheid: ten minste er is geene andere eigenschap, die in zoo hooge mate waarneembaar is, als deze.

Dat de dichtheid echter niet alleen of uitsluitend den graad van doordringbaarheid bepaalt, bewijzen de volgende proeven. Ik onderzocht ter bepaling der doordringbaarheid eenige platen van glas, aluminium, kalkspaat en kwarts, van nagenoeg gelijke dikte; de dichtheid dezer stoffen bleek ongeveer dezelfde te zijn en toch bleek zeer duidelijk, dat kalkspaat belangrijk minder doordringbaar is als de andere lichamen, die tamelijk gelijken graad van doordringbaarheid hadden. Een bijzonder sterke fluorescentie van kalkspaat voornamelijk met glas vergeleken, heb ik niet waargenomen.

4. Bij toenemende dikte worden alle lichamen minder doordringbaar. Om zoo mogelijk eene verhouding te vinden tusschen doordringbaarheid en dikte der laag, heb ik photographische opnamen gemaakt, waarbij de photographische plaat gedeeltelijk bedekt was met laagjes stanniol van een trapsgewijze toenemend aantal bladen; ik zal tot eene photometrische meting overgaan, zoo-

dra ik in het bezit ben van een geschikten photometer.

5. Van platina, lood, zink en aluminium werden door walsen platen vervaardigd van zoodanige dikte, dat zij alle nagenoeg gelijke doordringbaarheid vertoonden. De volgende tabel bevat de gemeten dikte in mm., de betrekkelijke dikte in verhouding tot de platiniplaat en de dichtheid.

	Dikte.		Betrekk. dikte.	Dichtheid.
Pt.	0.018	mm.	1	21.5
Pb.	0.05	»	3	11.3
Zn.	0.10	»	6	7.1
Al.	3,5	»	200	2.6

Uit deze getallen is af te leiden, dat de verschillende metalen volstrekt niet gelijke doordringbaarheid hebben, als het produkt van dikte en dichtheid gelijk is. De doordringbaarheid neemt in veel sterkere mate toe, als dit produkt afneemt.

6. De fluorescentie van bariumplatinacyanuur is niet de eenige waarneembare werking der X.-stralen. In de eerste plaats moet er op gewezen worden, dat ook andere lichamen fluoresceeren; zoo bijv. de als phosphoren bekende calciumverbindingen, verder uranglas, gewoon glas, kalkspaat, steenzout enz.

In menig opzicht is het van bijzondere beteenis, dat photographische drooge platen gebleken zijn gevoelig te wezen voor X.-stralen. Daardoor kan men vele verschijnselen fixeeren, waardoor gevergissingen makkelijker kunnen voorkomen worden; en waar het maar eenigszins mogelijk was heb ik elke belangrijke waarneming, die ik met het bloote oog op het fluorescentie-scherm deed, door eene photographische opname gecontrolleerd.

Daarbij komt de eigenschap der stralen, dat ze bijna ongehinderd door dunne hout-, papier- en stanniol-laagjes heengaan, zeer te stade, men kan de opnamen met de photographische plaat in de chassis of in een papieren omkleedsel in de verlichte kamer maken. Aan den anderen kant heeft deze eigenschap ook ten gevolge, dat men de onontwikkelde platen niet lang in de nabijheid van het ontladings-apparaat mag laten liggen, als ze alleen beschut zijn door de gebruikelijke verpakking van bordpapier en gewoon papier.

Nu is het nog de vraag of de chemische werking op het zilverzout van de photografische plaat rechtstreeks door de X-stralen teweeggebracht wordt. Het is mogelijk, dat deze werking ontstaat door het fluorescentie-licht, dat, gelijk boven vermeld werd, in de glazen plaat of wellicht in

de gelatine-laag ontstaat. Overigens kan men even goed »films« als glazen platen gebruiken.

Dat de X-stralen ook warmte kunnen wekken, heb ik nog niet proefondervindelijk aangetoond, maar men mag wel aannemen, dat deze eigenschap bestaat, nadat door de fluorescentie bewezen is, dat de X-stralen veranderd kunnen worden en het zeker is, dat niet alle opvallende X-stralen het lichaam als zoodanig weder verlaten.

De retina van het oog is ongevoelig voor onze stralen; wanneer men het oog vlak bij het ontladings-apparaat brengt, bemerkt men niets, hoewel volgens genomen proeven de mediae in het oog voor deze stralen doordringbaar genoeg moeten zijn.

7. Nadat ik de doordringbaarheid van verschillende lichamen van betrekkelijk groote dikte had geconstateerd, haastte ik mij, te onderzoeken, hoe de X-stralen werkten als ze door een prisma gaan, of ze daarin afwijken of niet. Proeven met water en zwavelkoolstof in kwartsprismas van 30° brekenden hoek, deden geenerlei afwijking constateeren, noch op het fluorescentie-scherm noch op de photographische plaat. Ter vergelijking werd onder dezelfde omstandigheden de afwijking der lichtstralen waargenomen; de afwijkende beelden lagen op de plaat 10 resp. 20 mm.

van de niet afwijkende verwijderd. Met een caoutchouc- en een aluminium-prisma van eveneens ongeveer 30° brekenden hoek heb ik op de photographische plaat beelden gekregen, waaraan wellicht eenige afwijking te bespeuren is. De zaak is evenwel zeer onzeker en de afwijking is, als zij al bestaat, in allen gevalle zoo klein, dat de brekings-exponent der X-stralen in de genoemde stoffen hoogstens 1,05 zou kunnen zijn. Met het fluorescentie-scherm heb ik ook in dit geval geen afwijking kunnen waarnemen.

Proeven met prismas uit dichtere metalen leverden tot dusverre door de geringe doordringbaarheid en de dientengevolge geringe intensiteit der doorgelaten stralen geen betrouwbaar resultaat op.

Eensdeels met het oog op dezen stand van zaken, anderdeels wegens het belang der vraag of de X-stralen bij overgang van de eene middenstof in de andere gebroken kunnen worden of niet, is het zeer gelukkig, dat dit vraagstuk nog op andere wijze onderzocht kan worden, dan met behulp von prismas. Lichamen tot fijn poeder verwerkt in voldoende dikke lagen laten het opvallende licht door breking en reflectie maar weinig en onregelmatig door: blijkt het nu, dat het poeder voor de X-stralen even doordringbaar is als

de coherente stof, — aangenomen, dat de massa's gelijk zijn — dan is daarmede aangetoond, dat breking en regelmatige reflectie niet in waarneembare mate voorkomen. De proeven werden genomen met steenzout tot fijn poeder gereduceerd, met fijn zilverpoeder langs electrolytischen weg verkregen en met zinkstof, dat bij chemische onderzoekingen veelvuldig gebruikt wordt; in al deze gevallen was er geen onderscheid waartenemen tusschen de doordringbaarheid bij het poeder en bij de coherente stof zoowel bij waarneming op het fluorescentie-scherm als op de photographische plaat.

Dat men de X-stralen niet met lenzen kan concentreeren volgt natuurlijk onmiddellijk uit het boven medegedeelde; eene groote caoutchouc lens en eene glazen lens bleken inderdaad niets uit te werken. Het schaduwbeeld van een ronden stok is in het midden donkerder dan aan den rand; dat van eene buis gevuld met eene stof, die meer doordringbaar is dan de grondstof van de buis, is in het midden lichter dan aan den rand.

8. Het vraagpunt aangaande de reflectie der X-stralen is door de proeven van de vorige paragraaf in zooverre als opgelost te beschouwen, dat er bij geen der onderzochte stoffen eene waar-

neembare regelmatige terugkaatsing der stralen plaats heeft. Andere proefnemingen, die ik hier verder onvermeld laat, leverden gelijke uitkomsten op.

Intusschen moet hier nog van eene waarneming gewag worden gemaakt, die op het eerste gezicht het tegendeel schijnt te bewijzen. Ik stelde eene photographische plaat, met zwart papier tegen de lichtstralen beschermd, en met de glaszijde naar het ontladings-apparaat gekeerd aan de werking der X-stralen bloot: de gevoelige laag was, met uitzondering van een klein gedeelte, dat vrijgelaten was, bedekt met blanke platen platina, lood, zink en aluminium stervormig gerangschikt. Op het ontwikkeld negatief kan men duidelijk zien, dat de zwarte tint onder het platina, het lood en vooral onder het zink veel sterker is als op andere plaatsen; het aluminium had in het geheel niets uitgewerkt. Het schijnt dus, dat de drie genoemde metalen de stralen terugkaatsen, intusschen was het denkbaar, dat er nog andere oorzaken voor die donkerder tint bestonden en om zeker te gaan legde ik bij een tweede proef tusschen de gevoelige laag en de metalen platen een stuk dun bladaliminium, dat geen ultra-violetstralen doorlaat, maar wel zeer gemakkelijk X-stralen Daar thans ook weder in hoofdzaak dezelfde uitkomst

werd verkregen, blijkt hieruit, dat de X-stralen op de genoemde metalen terugkaatsen.

Brengt men dit feit in verbinding met de waarneming, dat poeders even doordringbaar zijn als coherente lichamen, dat verder lichamen met ruwe oppervlakte bij het doorlaten der X-stralen, even als bij de laatst beschreven proefneming, geen andere verschijnselen vertoonen dan lichamen met gladde oppervlakte, dan komt men tot de meening, dat er wel is waar geen regelmatige reflectie plaats heeft, maar dat de X-stralen op de lichamen juist zóo werken, als het licht op de ondoorschijnende middenstof.

Daar ik ook geen breking kan aantoonen bij den overgang van de eene middenstof tot de andere, zoo schijnt het, alsof de X-stralen zich met gelijke snelheid in alle lichamen bewegen en wel in eene middenstof, die overal voorkomt en waarin de atomen vervat zijn. Deze laatste staan de verbreiding der X-stralen in den weg en wel in het algemeen zooveel te meer, naarmate de dichtheid van de lichamen grooter is.

9. Het zou dus mogelijk kunnen zijn, dat de ligging der deeltjes in het lichaam van invloed was op de doordringbaarheid, dat bijv. een stuk kalkspaat bij gelijke dikte een verschillenden

graad van doordringbaarheid vertoonde, naarmate de stralen er loodrecht doorgingen of in de richting van de as. Proeven met kalkspaat en kwarts hebben echter een negatief resultaat opgeleverd.

10. Gelijk bekend is kwam Lenard bij zijne schoone proeven over het doorlaten van Hittorf'sche kathodenstralen door een dun blaadje aluminium, tot het resultaat, dat deze stralen verschijnselen in den aether zijn en dat zij in alle lichamen diffus plaats grijpen. Van onze stralen hebben wij iets dergelijks kunnen zeggen.

In zijn laatste werk heeft Lenard het absorbsievermogen van verschillende lichamen voor de kathodenstralen bepaald en dat o. a. voor licht van atmospheerdruk tot 4.10, 340, 3,10 per 1 cm. bevonden al naar de verdunning van het in het ontladingsapparaat vervatte gas. Te oordeelen naar de ontladingsspanning, berekend naar den afstand, waarover de vonken oversprongen, heb ik bij mijne proeven meestal met ongeveer gelijke en slechts zelden met kleinere of grootere verdunningen te doen gehad. Het gelukte mij met den photometer van L. Weber — een beteren heb ik niet — in atmospherische lucht de intensiteit van het fluorescentie-licht van mijn scherm op twee afstanden — om-

streeks 100 en 200 mm. — van het ontleedingsapparaat met elkander te vergelijken en uit die proeven, die goed met elkander overeenkwamen vond ik, dat deze zich tot elkaar verhouden als de vierkanten der afstanden van het scherm tot het ontladings-apparaat. Bijgevolg houdt de lucht van de doorgaande X-stralen een veel kleiner gedeelte terug dan van de kathodenstralen. Deze uitkomst komt ook nauwkeurig overeen met de bovenbedoelde waarneming, dat het fluorescentielicht nog op 2 M. afstand van het ontladingsapparaat kon worden waargenomen.

Over het algemeen gaat het met de andere lichamen evenals met de lucht, zij zijn meer doordringbaar voor de X-stralen dan voor de kathodenstralen.

11. Verder ligt er een zeer merkwaardig verschil in de verhouding van kathodenstralen tot X-stralen in het feit, dat het mij in weerwil van groote inspanning niet gelukt is, ook in krachtige magnetische velden door middel van een magneet afwijking der X-stralen te verkrijgen.

De afwijkbaarheid door een magneet geldt thans echter als een karakterstiek kenmerk der kathodenstralen, wel hebben Hertz en Lenard waargenomen, dat er verschillende soorten van katho-

denstralen zijn, »door opwekking van phosphorescentie, absorbsievermogen en afwijking door de magneet van elkaar onderscheiden» maar in alle door hen onderzochte gevallen werd toch eene belangrijke afwijking waargenomen en ik geloof niet, dat men zonder hooge noodzakelijkheid dit karakterstiek kenmerk zal opgeven.

12. Volgens speciaal tot dit doel gedane proeven is het zeker, dat die plaat aan den wand van het ontladingsapparaat, die het sterkst fluoresceert, beschouwd moet worden als hoofduitgangspunt der X-stralen, die zich naar alle richtingen verspreiden. De X-stralen gaan bijgevolg uit van de plaats, waar volgens opgave van vele natuuronderzoekers de kathodenstralen den glaswand treffen. Doet men de kathodenstralen binnen het ontladings-apparaat door middel van een magneet afwijken, dat ziet men, dat ook de X-stralen van eene andere plaats, d. i. weder van het eindpunt der kathodenstralen uitgaan.

Ook om deze reden kunnen de X-stralen, die men niet kan doen afwijken, niet eenvoudig kathodenstralen zijn, die onveranderd van den glaswand worden doorgelaten, of wel gereflecteerd worden. De grootere dichtheid van het glas buiten het ontladingsvat kan immers volgens Lenard niet de oorzaak

zijn van het groot verschil in afwijking. Ik kom bijgevolg tot het resultaat, dat de X-stralen niet identisch zijn met de kathodenstralen, maar dat ze door de kathodenstralen in de glaswand van het ontladings-apparaat ontstaan.

13. Dit geschiedt niet alleen in glas, maar ook in aluminium gelijk ik gelegenheid had waar te nemen in een apparaat, afgesloten met een 2 mm. dikke aluminiumplaat. Andere stoffen zullen later onderzocht worden.

14. Het recht om aan het van den wand van het ontladings-apparaat uitgaande agens den naam van »stralen« te geven, ontleende ik gedeeltelijk aan de geheel regelmatige schaduwvorming, die zich vertoont, als men tusschen het apparaat en het fluoresceerend scherm (of de photographische plaat) meer of minder doordringbare lichamen brengt.

Ik heb vele dergelijke schaduwbeelden, waarvan het opnemen tevens bijzondere aantrekkelijkheid heeft, beschouwd en gedeeltelijk ook photographisch opgenomen; zoo heb ik bijv. photographieën van de schaduwen der profielen van eene deur, die de kamers scheidt, waarin aan de eene zijde het ontladings-apparaat en aan de andere zijde de photografische plaat gesteld was; van de schaduwen van het geraamte der hand; van de scha-

duw van een metaaldraad overdekt op een houten spoel gerold; van een stel gewichten in een kistje opgesloten; van een boussole, waarbij de magneetnaald geheel van metaal is ingesloten; van een stuk metaal, waarvan de heterogeniteit door de X-stralen merkbaar wordt enz.

Een bewijs voor de rechtlijnige beweging der X-stralen is verder eene photographie voor eene opening, welke opname ik heb kunnen maken van een in zwart papier gewikkeld ontladingsapparaat; het beeld is zwak, maar ontegenzeggelijk juist.

15. Veel heb ik naar interferentie-verschijnselen der X-stralen gezocht, maar wellicht ten gevolge der geringe intensiteit, ongelukkig zonder resultaat.

16. Proeven om uittemaken of electrostatische krachten ook op de eene of andere wijze van invloed zijn op de X-stralen, zijn wel begonnen, maar nog niet ten einde gebracht.

17. Vraagt men zich af, wat die X-stralen — die geen kathodenstralen kunnen zijn — dan toch eigentlijk zouden wezen, dan zal men wellicht in het eerste oogenblik, verleid door de levendige fluorescentie en chemische werkingen aan ultraviolet licht denken. Daarbij stuit men echter dadelijk op gewichtige bezwaren. Wanneer namelijk

de X-stralen ultraviolet licht waren, dan moest dit licht de eigenschap hebben:

a. dat het bij den overgang van de lucht in water, zwavelkoolstof, aluminium steenzout, glas zink enz. geen aanmerkelijke breking ondergaat;

b. dat het door de genoemde lichamen niet merkbaar regelmatig gereflecteerd kan worden;

c. dat het derhalve door de anders gebruikelijke middelen niet gepolariseerd kan worden;

d. dat de absorbtie van geen andere eigenschap der lichamen zoozeer den invloed ondervindt als van de dichtheid.

Bij gevolg, zou men dan moeten aannemen, dat deze ultravioletstralen van geheel anderen aard zijn als de tot dusver bekende ultraroode, zichtbare en ultravioletstralen.

Tot dat besluit heb ik niet kunnen komen en naar eene andere verklaring gezocht.

Er schijnt eene zekere verwantschap te bestaan tusschen de nieuwe stralen en de lichtstralen, daarop wijzen althans de schaduwvorming, de fluorescentie en de chemische werking, welke bij beide soorten van stralen voorkomen. Nu weet men sedert lang, dat er behalve de transversale lichtgolven ook longitudinale golvingen in den aether kunnen en naar de meening van vele natuurkun-

digen moeten voorkomen. Zeker is hun bestaan tot dusverre nog niet overtuigend aangetoond en zijn daardoor de eigenschappen nog niet proefondervindelijk onderzocht.

Zouden nu die nieuwe stralen niet moeten toegeschreven worden aan longitudine golvingen in den aether?

Ik moet bekennen, dat ik mij in den loop der onderzoekingen steeds meer met deze gedachte heb vertrouwd gemaakt en ik veroorloof mij dan ook, dit vermoeden hier uit te spreken, hoewel ik mij zeer wel bewust ben, dat de gegeven verklaring nog verder zal behooren bewezen te worden.

WÜRZBURG, *Physikal. Institut der Universiteit*, Dec. 1895.

